Forêts et pollution atmosphérique

PAR

P. MATHY

Ir. Agronome des Eaux et Forêts
Laboratoire de Biologie Végétale
Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, Gembloux

Ind. bibl. : 425

Introduction.

A l'heure actuelle, la forêt subit de plus en plus l'influence de la pollution atmosphérique.

Les sources émettrices de substances toxiques se multiplient sans cesse : sources fixes (industries et foyers domestiques); sources mobiles (trafic urbain et autoroutier, trafic aérien).

En Europe, la superficie forestière soumise à une pollution d'origine industrielle, entraînant des dégâts visibles, était estimée à 400 000 ha, par BOSSAVY en 1968. Le même auteur présente le tableau suivant, des forêts atteintes dans quelques pays d'Europe; Autriche : 30 000 ha, France : 6 000 ha, Roumanie : 15 000 ha, Suisse : 600 ha, Suède et Norvège : 4 000 ha.

C'est cependant dans les pays d'Europe Centrale où l'intrication des zones industrielles et des forêts est très forte, que la situation est la plus dramatique; WENTZEL (1967), s'appuyant sur une enquête réalisée en 1961 fait état des superficies forestières endommagées dans les régions suivantes :

Bassin de la Ruhr	31 000 ha
Région de Bitterfeld-Dessau	55 000 ha
Ersgebirge (Bohème)	60 000 ha
Saxe	13 500 ha
Haute Silésie	35 000 ha

Le patrimoine forestier est également menacé dans d'autres régions : en Pologne, on estime à 176 000 ha les superficies de forêts influencées, dont plus de 25 000 subissent des dégâts importants; aux Etats-Unis, ce sont les forêts Californiennes de *Pinus ponderosa*, des environs de Los Angeles qui sont les plus atteintes, ainsi que les forêts de *Pinus strobus* dans l'Ontario (LINZON, 1966).

En Belgique, la pollution atmosphérique influence aussi la forêt. Les accidents aigus et les manifestations de troubles chroniques ne sont pas rares. Ils se localisent la plupart du temps en marge des zones industrielles. Certains sites sont célèbres : les forêts du sillon Mosan, en aval d'Andenne (Seille Engis), la vallée de la Vesdre (à Forêt-Trooz). D'autres sont plus méconnus, dans le bassin carolorégien, en Flandre ou encore en Campine anversoise et limbourgeoise.

Nous ne possédons pas à l'heure actuelle un recensement qui puisse déterminer avec précision le nombre et la superficie des forêts subissant ainsi le préjudice de la pollution.

D'autre part, la relative proximité des grands centres industriels et urbains, l'exiguïté du territoire et le transport à distance des polluants gazeux et particulaires sont autant de facteurs qui favorisent l'exposition chronique des massifs forestiers belges aux altérations des qualités de l'air.

Dans l'état actuel de nos connaissances, s'il est difficile de suivre l'évolution de ce fond de pollution chronique, il est encore plus difficile d'en mesurer les conséquences au niveau de la forêt.

1. — *Les principaux polluants atmosphériques.*

a. — Définitions.

On répartit les effets de la pollution de l'air sur les végétaux en trois catégories (IMPENS, 1973) :

— *Les accidents aigus* résultent de l'action directe des produits toxiques, en fortes concentrations, sur l'appareil végétatif; leurs effets spectaculaires sont limités dans le temps et dans l'espace : destruction brutale de peuplements, mort d'arbres, dépérissements soudains.

— *Les troubles chroniques* sont engendrés par la répétition ou l'action prolongée de faibles concentrations du polluant; ils entraînent des dépérissements lents; une diminution de la production, des modifications du tapis végétal.

— *Les atteintes invisibles* regroupent l'ensemble des troubles généralement métaboliques, sans extériorisation de symptômes marqués.

Les *dégâts*, réponses physiologiques et pathologiques de la plante aux polluants de l'air, engendrent généralement des effets regrettables dans les domaines les plus divers : économique et financier, social et esthétique ou encore écologique. Le terme général « dommages » regroupe l'ensemble de ces effets.

Les techniques de mise en évidence de la pollution atmosphérique et de ses effets sur les végétaux se sont fortement développées ces dernières années.

Elles s'avèrent fort utiles en matière forestière en ce qui concerne :

— la détermination des polluants,
— le calcul des concentrations,
— la recherche des sources d'émission,
— l'estimation des dommages,
— la surveillance des zones forestières contaminées ou susceptibles de l'être.

Compte tenu de l'importance de ces questions, il nous a semblé intéressant de leur réserver un prochain article.

b. — Origine et effets des polluants gazeux.

1) *L'anhydride sulfureux*

La combustion des charbons et des fuels lourds, ainsi que le grillage des sulfures, constituent les sources principales de SO_2 dans l'atmosphère.

La pollution soufrée provoque chez les végétaux des perturbations d'ordre physiologique ou biochimique telles que :

— la paralysie du mécanisme de fermeture des stomates; une transpiration accentuée et ininterrompue entraînant un déssèchement rapide des tissus,

— une respiration généralement accélérée,

— la destruction de la chlorophylle et sa dégradation en phéophytine,

— la modification des teneurs en sucres et vitamines.

Chez l'épicéa, on constate en outre une diminution de l'activité de la glucosidase ainsi qu'une modification qualitative et quantitative des terpènes (Bovay, 1968).

La symptômatologie des dégâts d'anhydride sulfureux est actuellement bien connue. Elle a été décrite avec précision par plusieurs auteurs et notamment par Van Haut et Stratmann (1969) et par Jacobson et Hill (1970).

Les résineux sont en général beaucoup plus sensibles que les feuillus aux émissions d'anhydride sulfureux. Dans les forêts d'Europe centrale, *Abies alba* Mill, *Picea abies* (L) Karst, *Pinus sylvestris* L. sont les plus touchés, *Larix decidua* Mill et *Pinus nigra* Arn. *subsp nigra* sont moins sensibles; les essences feuillues des forêts de basse altitude (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Betula sp.* et *Carpinus sp.*) sont nettement plus tolérantes (Bossavy, 1968). A cette variabilité interspécifique, il faut ajouter de fortes différences intraspécifiques et même interclônales, quant à la résistance des arbres aux émissions soufrées : *Populus balsamifera* L. est généralement cité comme très résitant (Leblanc, 1968) mais il existe des différences significatives entre les divers cultivars de cette espèce. On perçoit également des différences de sensibilité entre les individus ou les organes d'âges différents. Les arbres d'âge moyen sont moins tolérants que les sujets plus jeunes ou plus âgés. Chez l'épicéa, au printemps, les feuilles de l'année précédente, dont l'activité assimilatrice est maximale, présentent des dégâts plus accusés que les feuilles de l'année. Ces dernières deviennent par contre plus sensibles dans le courant de l'été (Bossavy, 1968).

2) *Le fluor*

Le fluor est présent dans les effluents gazeux d'un grand nombre d'industries dont les principales sont l'électrolyse de l'aluminium, la fabrication des superphosphates, la verrerie, la tuilerie, la céramique, la cuisson des argiles. Aux alentours des usines d'aluminium, les rejets fluorés dépassent souvent la centaine de tonnes par an.

L'acide fluorhydrique est un des polluants les plus toxiques pour les végétaux. Agissant par accumulation au sein des tissus, et plus particulièrement dans les zones apicales et marginales des feuilles, son mode d'action est encore mal connu : on suppose qu'il exerce une action dépressive sur la formation de la chlorophylle et des protochlorophylles (Bovay, 1975).

Compte tenu de la durée d'exposition des organes verts aux émanations fluorées, les résineux sont en général des essences extrêmement sensibles. Dans la vallée de l'Arc, en Maurienne, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karst et *Abies alba* Mill. ont pratiquement disparu des versants escarpés avoisinant les usines de traitement de l'aluminium. Des dépérissements sont encore observés jusqu'à 35 km des sources d'émission. Certaines espèces résistent beaucoup mieux, outre les feuillus, citons encore les Thuyas, les Chamaecyparis et certains Cupressus qui ne semblent pas souffrir du fluor atmosphérique.

3) *Ozone et smogs photochimiques*

Résultant de réactions photochimiques complexes des polluants de l'air, les smogs sont fréquents dans les régions industrielles et urbaines où les inversions thermiques sont coutumières.

En Californie et plus particulièrement dans la région de Los Angeles, de grandes superficies de *Pinus ponderosa* Doug sont atteintes. Les auteurs américains associent ces dégâts à un accroissement de la quantité d'ozone atmosphérique résultant de la photoréduction des polluants de l'air (Hepting, 1966; Stark et Coob, 1969).

Les composés toxiques formés, leurs effets physiologiques, histologiques et biochimiques sur les végétaux sont encore moins connus que dans le cas du fluor.

4) *Métaux lourds*

Les conséquences néfastes des pollutions métalliques dans les écosystèmes forestiers s'exercent surtout sur le potentiel de productivité de ces écosystèmes. Certains métaux tels que le zinc ou le cadmium sont absorbés par les végétaux (Lepp, 1975) et entraînent des retards de croissance, manifestation de troubles physiologiques graves (modification des échanges gazeux, action dépressive sur les systèmes enzymatiques, etc.). Ils entraînent aussi des perturbations importantes au niveau du sol. Compte tenu de leur affinité pour la matière organique, ils forment dans les litières forestières des complexes organo-métalliques généralement stables. La présence de ces éléments provoque un ralentissement des processus de décomposition de la matière organique par leur action dépressive sur l'installation et le développement des populations microbiennes. Les métaux lourds contrarient également les réactions enzymatiques du sol, entravant la minéralisation de l'azote et du phosphore. Le cuivre particulièrement exerce une action inhibitrice sur la phosphatase (Tyler, 1975).

Un cycle des éléments métalliques toxiques s'installe dans l'écosystème forestier, parallèlement aux cycles des éléments biogènes (Kelly, Parker,

Fee, 1975). Le bilan de ce cycle est continuellement modifié par des apports atmosphériques d'éléments initialement peu solubles, contenus dans l'eau de pluie. Au contact des acides organiques exsudés par les végétaux, se forment des complexes organo-métalliques solubles dans l'eau. Ces formes chimiques sont beaucoup plus mobiles, relativement à leur absorption ultérieure par les plantes ligneuses (Bolter, Butz, Arseneau, 1975). Les risques d'empoisonnement sont par conséquent fortement augmentés.

2. — *Conséquences de la pollution atmosphérique sur les forêts.*

a. — Dans les domaines économiques et financiers.

La pollution atmosphérique peut entraîner, dans les cas les plus graves, la mort des arbres et la destruction complète des peuplements forestiers (Forêt de Roumare : Banlieue de Rouen, région de Los Angeles, forêts de Maurienne, région des Monts Métalliques). Ces dégâts spectaculaires, résultant généralement d'accidents aigus ou de pollutions chroniques importantes, impressionnent fortement l'opinion publique.

Dans de nombreux cas, les dégâts sont beaucoup plus discrets. Résultant de pollutions chroniques faibles, ils sont parfois difficiles à déceler et soulèvent moins de protestations, alors qu'ils engendrent des dommages considérables, souvent à l'insu du propriétaire forestier lui-même. Les effets des atmosphères polluées se traduisent alors par :

— le vieillissement prématuré des peuplements,
— l'augmentation de la masse des chablis (Bossavy, 1970),
— la diminution de l'accroissement radial (Linzon, 1971) entraînant une perte considérable de volume (en Maurienne, on constate des pertes annuelles allant de 0,5 à 7 m^3/ha,
— l'altération des qualités mécaniques des grumes, dues aux variations du pourcentage de bois dense à l'intérieur des accroissements annuels et du contraste de densité entre le bois de printemps et le bois d'été.

On a aussi constaté des dommages indirects, tels que :

— la diminution des activités de reproduction (floraison, fructification), rendant la régénération naturelle beaucoup plus aléatoire,
— la diminution de la résistance des arbres aux agents pathogènes,
— le ralentissement général des activités de l'écosystème (accroissement de l'acidité des sols; modification des systèmes enzymatiques et microbiens; perturbation de la flore, des complexes mycorhiziens et des équilibres alimentaires.

b. — Dans le domaine écologique.

Outre les modifications quantitatives et qualitatives du tapis végétal, les conséquences écologiques de l'altération des forêts par la pollution se répercutent dans les domaines les plus divers :

— changement du relief du sol,
— modification des conditions hydrologiques (Kamieniecki, 1970),
— augmentation des risques d'érosion,
— dépréciation du paysage,
— diminution de l'utilité sociale de la forêt (Roisin, 1975).

3. — *Les moyens de lutte et de réduction des dégâts.*

La réduction des *émissions* de substances toxiques constitue la meilleure garantie de protection des forêts en matière de pollution atmosphérique. Les moyens techniques mis en œuvre visent à modifier les méthodes de fabrication (remplacement des charbons et fuels riches en soufre par le gaz naturel), ou à épurer l'air (utilisation de filtres de dépoussiérage ou épuration des fumées). Toutefois, la technologie de la dépollution est coûteuse et souvent peu efficace. Dans certains cas, les forestiers ont dû recourir à des méthodes visant à réduire les effets des *immissions*.

Les mesures adoptées ne le sont alors qu'au prix d'un certain nombre de sacrifices dans le domaine financier ou dans celui de l'exploitation des potentialités du milieu.

Au point de vue sylvicole, on peut réduire les dégâts de pollution en intervenant au niveau du choix des essences.

Le remplacement des essences sensibles par d'autres qui le sont moins est une pratique courante dans les forêts endommagées.

En Californie, on remplace avantageusement *Pinus ponderosa* Douglas par *Pinus lambertiana* Doug. et *Sequoïa gigantea* (Lindl) Decaine; en Europe Centrale, *Fagus sylvatica* L. et *Quercus borealis* sont préférés autant que possible à *Picea abies* (L.) Karst, *Abies alba* Mill. et *Pinus sylvestris* (L.) (Lampadius, 1969). Toutefois, les résineux croissent souvent dans des conditions écologiques si défavorables que la substitution ne se fait pas sans perte de rentabilité. Elle est cependant indispensable là où la fonction de protection de la forêt s'impose; sur les versants escarpés de la Maurienne par exemple, on tend à favoriser les espèces résistantes, compte tenu des dangers considérables d'érosion.

Dans une certaine mesure, on peut combattre les effets de la pollution de l'air sur la forêt par des pratiques culturales appropriées. Souvent, les cultures agricoles souffrent moins de la pollution parce qu'elles se développent dans des conditions optimales de fertilité et qu'elles jouissent de soins intensifs.

Dans les forêts soumises à la pollution, le travail du sol et la fertilisation améliorent souvent l'état sanitaire des peuplements. Ainsi a-t-on mis en évidence l'importance de l'alimentation minérale et tout particulièrement de l'alimentation azotée sur la résistance de *Pinus sylvestris* (L.) au SO_2 (Enderlein et Kastner, 1967; Materna et Kohout, 1967).

En ce qui concerne l'aménagement, les possibilités d'intervention sont beaucoup plus limitées et supposent aussi des sacrifices financiers et économiques. Compte tenu du vieillissement prématuré des arbres soumis aux gaz toxiques, le seul recours de l'aménagiste est de réduire la rotation et d'imposer aux peuplements des révolutions plus courtes.

Enfin, ces dernières années ont vu le développement de techniques génétiques capables de sélectionner des clônes d'arbres résistants à divers polluants atmosphériques.

On a notamment créé des hybrides interspécifiques de *Larix decidua* Mill. et de *Larix leptolepis* (Sieb. et Zucc.) Endl. résistant aux fumées (ENDERLEIN, KESTNER et HEIDRICH, 1967).

4. — *Conclusions.*

Les polluants atmosphériques exercent des effets nocifs sur la forêt. Les polluants gazeux et en particulier l'anhydride sulfureux, l'acide fluorhydrique et les smogs photochimiques étant actuellement les plus à redouter.

Les dégâts aux arbres et aux peuplements entraînent des dommages dans les domaines les plus divers : financier, économique, technologique ou écologique au sens large.

La gravité de ces dégâts va de la disparition totale de la couverture végétale à la diminution imperceptible du potentiel de production sylvicole. En Belgique, nous ne possédons cependant que peu d'informations sur les superficies endommagées et sur l'importance économique des atteintes invisibles.

Les possibilités d'intervention en vue de réduire les effets de la pollution atmosphérique relèvent des domaines de la sylviculture, de l'aménagement et de la recherche génétique.

Seule la maîtrise des émissions peut enrayer les risques d'accidents. Bien qu'ils soient coûteux, le développement et l'application des techniques de dépollution, alliées à l'élaboration d'une législation concertée, constituent les meilleures assurances de la protection des forêts, afin que celles-ci continuent à exercer les multiples fonctions qui lui sont assignées dans la société industrielle contemporaine.

Bibliographie.

BOLTER, E.; BUTZ, T.R.; ARSENEAU, J.F. — Heavy metal mobilization by Natural Organic Acids. Conférence Internationale sur les métaux lourds dans l'environnement, TORONTO, Ontario, Canada, 27-31 octobre 1975.

BOSSAVY, J. — Informations sur les dommages causés par la pollution de l'air aux plantes et aux aux animaux dans les pays européens. Air Pollution, Proceedings of the first European Congress on the Influences of Air Pollution on Plants and Animals, WAGENINGEN, 1968.

BOSSAVY, J. (1970) — Les polluants atmosphériques : leurs effets sur la végétation. Revue forestière française, sept.-oct. 1970, pp. 533-543.

BOVAY, E. — Effets de l'anhydride sulfureux et des composés fluorés sur la végétation. Air Pollution, Proceedings of the first European Congress on the Influences of Air Pollution on Plants and Animals, WAGENINGEN, 1968.

DE CORMIS, L. — La pollution de l'air et les végétaux. Précis général des nuisances : les nuisances dans les activités rurales.

DOCHINGER, L.S.; TOWN SEND, A.M.; SEE GRIST, D.W. (1972) — Response of hybrid poplar trees to sulfur dioxide fumigation. J.A.P.C.A. 22 (5) : 369-371.

ENDERLEIN, H.; KÄSTNER, W. — What effect has nutrient deficiency on the SO2 resistance of 1-year-old pine ? Arch. Forstw. 1967 16 (5), (431-435).

ENDERLEIN, H.; KÄSTNER, W.; HEIDRICH, H. — How does Larix planting stock, tested as fume-resistants react in an extremely polluted area, especially when affected by severe winter of late spring frosts. Sozial. Fortw., Berl. 1967 17 (3), (91-93).

EVANS, L.S.; MILLER, P.R. — Ozone damage to Ponderosa pine a histological and histochemical appraisal. Amer. J. Bot., 1972, 59 (3) : 297-304.

HEPTING, G.H. — Air Pollution impacts to some Important Species of Pine. Journal of ther Air Pollution Control Association February 1966 Vol. 16 nº 2, pp. 63-65.

IMPENS, R. — Effets de la pollution atmosphérique sur les végétaux. Notes de cours, F.U.L., décembre 1973.

JACOBSON, J.S.; HILL, A.C. (1970) — Recognition of air pollution injury to vegetation, a pictural atlas. Air Pollution Control Association, PITTSBURG, Pennsylvania.

KELLY, J.M.; PERKER, G.R.; MC FEE, W.W. — A Heavy Metal Budget for an Urban Black Oak Forest. Conférence Internationale sur les métaux lourds dans l'environnement, TORONTO, Ontario, Canada, 27-31 octobre 1975.

LAMPADIUS, F. — The Burkhardtwold near Ane as a classic example of silvicultural efforts to reduce smoke damage. Akademie - Verlag, East Berlin,, 1969 pp. 24 + 1 map.

LEPP, N.W. — Cycling of heavy metals in Woodland Ecosystems. Conférence Internationale sur les métaux lourds dans l'environnement, TORONTO, Ontario, Canada, 27-31 octobre 1975.

LINZO, S.N. — Economics effects of sulfur dioxide on Forest growth. J.A.P.C.A. 1971, 21 (2) : 81-86.

LINZON, S.N. — Economic Effects of Sulfur Dioxide on Forest Growth. Journal of the Air Pollution Control Association, February 1971, Vol. 21 nº 2, pp. 81-86.

MATERNA, J.; KOHOUT, R. — Treatment with N fertilizers and the uptake of SO2 by Spruce needles. Naturwissenschaften 1967, 54 (13), 351.

MEJSTRIK, V.; DOMINIK, T. — Mycorrhizal of Fagus sulvatica on various forest sites in Czechoslovakia. Sborn. Ved. Lesn. Ust. Vysoke Skoly Zemed., Praka nº 10, 1967 (317-340).

MRKVA, R. — Influence of industrial air pollution on the quality of Pinus sylvestris seed in the region on the Breclav forest enterprise. Acta. Univ. Agric. Brno. (Fac. Silv.) 1969, 38 (9), 345-360.

STARK, R.W.; COBB, F.W. — Smog injury, roat diseases and bark beetle damage in Ponderosa Pine. Calif. Agric. 1969, 23 (9), 13-15.

TYLER, G. — Effects of heavy metal pollution on decomposition and mineralization rates in forest soils. Conférence Internationale sur les métaux lourds dans l'environnement, TORONTO, Ontario, Canada, 27-31 octobre 1975.

VAN HAUT, H.; STRATMANN, H. (1970) — Farbtafelatlas über Schwefeldioxidwirkungen an Pflanzen. Girardet, Essen.